

# 유효강우량과 유량에 따른 하천 부유쓰레기 이동량 산출

장선웅\* · 윤홍주\*\*

Estimation of Movement Amount of River Floating Debris Based on Effective Rainfall and Flow Rate

Seon-Woong Jang\* · Hong-Joo Yoon\*\*

## 요약

장마나 집중호우 등에 의한 지속적인 강우는 비점오염원의 유출과 더불어 유량을 증가시킨다. 그리고 유량의 증가로 수위가 상승하게 되면 하천 주변에 산재되어 있던 부유쓰레기는 빨라진 유속에 의해 이동하게 된다. 하지만 현재 국내외에서 강우량과 유량을 분석하여 부유쓰레기의 이동량을 정량적으로 산출한 연구 사례는 없었다. 이에 본 연구에서는 SCS-CN 방법을 이용하여 산출한 유효 강우량과 유량 변화에 따른 이동 경로 모니터링 결과를 토대로 부유쓰레기의 이동량을 산정하였다.

## ABSTRACT

Along with effluence of non-point pollution source, continuous precipitation due to rainy season or localized heavy rain can also be a good reason for increase of flow rate. And if the water level is going up due to the increase, floating debris around rivers and streams will move because of increased flow velocity. However, currently, there are no studies which perform quantitative calculation on movement of floating debris by analyzing amount of rainfall and flow rate in both domestic and abroad. Thus, the present study calculated amount of movement of floating debris based on moving route monitoring results according to changes of effective rainfall and flow rate that are obtained by using SCS-CN method.

## 키워드

Nakdong River, Floating debris, Effective rainfall, Flow rate  
낙동강, 부유 쓰레기, 유효 강우량, 유량

## 1. 서론

장마나 집중호우 등에 의한 지속적인 강우는 비점 오염원의 유출과 더불어 유량을 증가시킨다. 그리고 유량의 증가로 수위가 상승하게 되면 하천 주변에 산재되어 있던 부유쓰레기는 빨라진 유속에 의해 이동

하게 된다[1]. 따라서 강수량은 부유쓰레기의 발생과 이동을 파악하는데 있어 중요하게 고려되어야 한다.

환경부[2]는 ‘제 2차 5대강 유역 하천·하구 쓰레기 관리 기본계획 수립을 위한 연구’에서 비점오염원의 유출에 직접적인 영향을 미치는 유효강우에 따른 직접 유출량을 산정하여 부유쓰레기의 발생량을 추정하는

\* 주라이온플러스 기업부설 연구소 책임연구원 (bearsd@naver.com)

\*\* 교신저자 : 부경대학교 공간정보시스템공학과

• 접수일 : 2016. 11. 28

• 수정완료일 : 2017. 02. 13

• 게재확정일 : 2017. 02. 24

• Received : Nov. 28, 2016, Revised : Feb. 13, 2017, Accepted : Feb. 24, 2017

• Corresponding Author : Hong-Joo Yoon

Dept. of Spatial Information Engineering, Pukyong National University

Email : yoonhj@pknu.ac.kr

방식을 제시하였다. 이는 기존에 댐 또는 하천 하구와 일부 구간에서 수거한 쓰레기의 양과 강수량 총량을 고려한 것에 비해 20개 시·군의 2009년 ~ 2012년의 평균 부유쓰레기 수거량과 비점오염원의 유출에 직접적인 영향을 미치는 직접유출량을 고려한 것으로 쓰레기 발생량 추정치의 오차를 일정 부분 줄일 수 있다.

한편, 강우량의 지역적 편중과 토양의 피복 및 이용 상태에 따라 다른 하천 유출량은 유량의 지역적 차이를 유발하게 된다. 그리고 이것은 부유쓰레기를 비롯한 오염 물질의 이동에 다른 영향을 미치게 된다. 하지만 현재 국내외에서 강우량과 유량을 분석하여 부유쓰레기의 이동량을 정량적으로 산출한 연구 사례는 없었다. 이에 본 연구에서는 환경부[2]의 부유쓰레기 발생량 추정에서 제시한 SCS-CN 방법을 이용하여 유효 강우량과 유량을 산출하고 장선웅 등[3-7]이 선행연구로써 2012년부터 2014년까지 낙동강 본류를 대상으로 수행한 이동 경로 모니터링 결과를 활용하여 부유쓰레기의 이동량을 산정하고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1 연구 자료

낙동강 유역은 전국 면적의 23.9%를 차지하는 대규모 하천으로 경상 남·북도, 대구광역시, 부산광역시가 낙동강 유역 면적의 98%를 차지하고 있다[8]. 2009년 ~ 2012년까지 낙동강 유역에서 수거한 쓰레기양은 총 29,694톤에 달하며, 중·상류에서 수거되지 못한 대량의 부유쓰레기가 하구 및 해양으로 유출됨에 따라 수거 처리 비용 부담에 있어 매년 지방자치단체가 갈등을 빚어왔다. 이에 장선웅 등[3-7]은 낙동강 부유쓰레기의 거동 특성을 파악하기 위해 위치 추적 부이를 이용한 이동 경로 모니터링을 2012년 ~ 2014년 장마기간을 대상으로 수행하였다(그림 1).

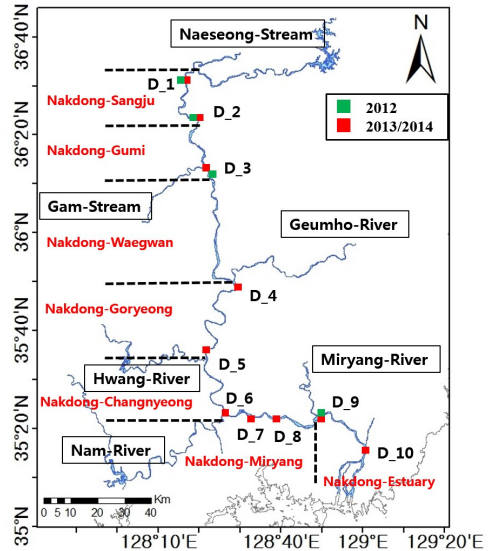


그림 1. 이동 경로 모니터링 위치[3-5]  
Fig. 1 Moving tracking monitoring areas

이 자료는 플라스틱류를 비롯한 생활쓰레기와 초목류 등의 하천 부유쓰레기 이동 경로를 장시간 실측한 자료로써 하천 부유쓰레기의 이동 특성을 파악하는데 있어 중요하다. 이에 본 연구에서는 유효 강우량과 유량에 따른 하천 부유쓰레기의 이동량 산정을 위해 장선웅 등[3-7]에 의해 수행된 이동 경로 모니터링 자료를 활용하였다.

다음으로 본 연구에서는 유효 강우량과 유량에 따른 하천 부유쓰레기의 정량적 이동량 산정을 위해 국토교통부의 국가수자원관리종합정보시스템<sup>1)</sup>과 낙동강홍수통제소<sup>2)</sup>에서 제공하는 일자별/시간별 자료를 이용하여 선행 연구 기간의 중권역별 강우량 및 유량을 파악하였다(그림 2).

1) <http://www.wamis.go.kr/>  
2) <http://www.nakdongriver.go.kr/>

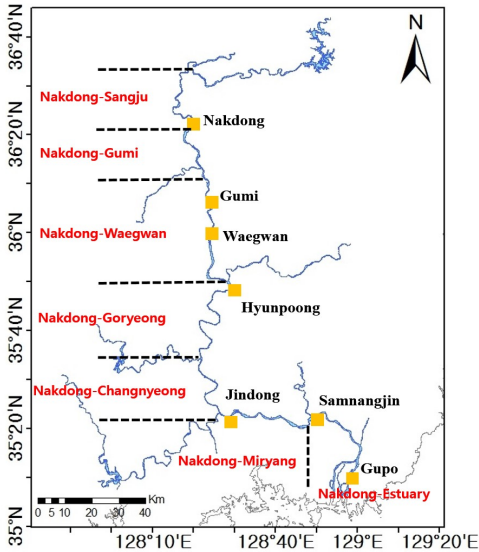


그림 2. 강우량 및 유량 관측 지점 위치  
Fig. 2 Locations of rainfall and flow rate observation

## 2.2 연구 방법

부유쓰레기는 장마나 집중호우 등에 의한 강우 유출수와 함께 발생함으로 비점오염의 유출 특성을 보인다[9]. 그리고 하천 내 부유쓰레기를 비롯한 비점오염원의 유출은 유효강우에 따른 직접유출량에 따라 결정된다[2]. 따라서 하천 부유쓰레기의 유출 및 유량 변화에 따른 이동 특성을 파악하기 위해서는 총강우량 중 침투 등으로 인한 손실량을 제외한 유효 강우량을 파악하는 것이 중요하다. 이에 본 연구에서는 미국 토양보존국(Natural Resources Conservation Service)에서 개발한 SCS(Soil Conservation Service) - CN(Curve Number) 방법을 이용하여 이동 경로 추적 시험 기간의 유효 강우량을 산정하고 권역별 유량 변화에 미치는 영향을 파악하였다. SCS - CN 방법은 토양의 피복 및 이용 상태, 선행강수량에 따른 유출곡선지수(runoff curve number, CN)를 도입하여 총 강우량으로부터 유효 강우량을 산정할 수 있는 방법이다[10]. SCS-CN 방법에서 총우량 - 유효우량간의 관계는 다음과 같은 식으로 표현 할 수 있다.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

여기서, P는 총 강우량(mm),  $I_a$ 는 강우 초기의 손실우량(mm), S는 유역의 최대 잠재보유수량(Maximum potential retention)(mm), Q는 유효 강우량에 해당한다. 그리고 강우 초기 손실량  $I_a$ 는 차단, 침투, 지면저류 등을 포함한 유출이 시작되기 전 발생한 것들로 S(유역의 최대 잠재보유수량)와 다음과 같은 관계를 가진다고 가정하였다.

$$I_a = 0.2S \quad (2)$$

(식2)를 (식1)에 대입하면 SCS 방법에서 적용되는 총 강우량 - 유효 강우량간의 관계를 얻게 된다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3)$$

여기서, 유역의 잠재보유수량의 크기를 표시하는 S는 토양, 토지 이용 및 식생 피복 처리 상태 등의 이른바 수문학적 토양-피복형의 성질을 대변하는 것으로 유출곡선지수(CN)와의 관계를 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$CN = \frac{25,400}{S + 254} \quad \text{or} \quad S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (4)$$

CN은 무차원 변수로 0 ~ 100의 값을 가지며, 불투수 또는 수표면에서는 CN = 100, 자연적인 지표면은 CN < 100을 갖는다. 본 연구에서는 국토교통부의 국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공하는 유출곡선지수(CN)를 사용하여 유효강우량을 산정하고자 하였다. 낙동강 중권역별 유출곡선지수(CN)와 산출된 최대 잠재보유수량(S)은 표 1과 같다.

표 1. 낙동강 권역별 유출곡선지수 및 최대 잠재보유수량

Table 1. Runoff curve number and maximum potential retention of the Nakdong River basin

Regions	Runoff curve number (CN)	Maximum potential retention (S(mm))
Nakdong Sangju	64	142.9
Nakdong Gumi	58	183.9
Nakdong Waegwan	62	155.7
Nakdong Goryeong	77	75.9
Nakdong Changnyeong	77	75.9
Nakdong Miryang	76	80.2
Nakdong Estuary barrage	74	89.2

### III. 결과 및 고찰

장마나 집중호우 등에 의한 지속적인 강우는 비점오염원의 유출과 더불어 유량을 증가시킨다. 그리고 유량의 증가로 수위가 상승하게 되면 하천 주변에 산재되어 있던 부유쓰레기는 빨라진 유속에 의해 이동하게 된다. 그러나 강우량의 지역적 편중과 토양의 피복 및 이용 상태에 따라 다른 하천 유출량은 유량의 지역적 차이를 유발하게 된다. 그리고 이것은 부유쓰레기를 비롯한 오염 물질의 이동에 다른 영향을 미치게 된다. 하지만 현재 국내에서 강우량과 유량을 분석하여 부유쓰레기의 이동량을 정량적으로 산출한 연구 사례는 없었다. 대부분 부유쓰레기의 수거량과 강우량, 유역 면적, 유역 인구 등의 관계식을 통해 발생량을 추정하고 있다. 이에 본 연구에서는 SCS-CN 방법을 이용하여 산출한 유효 강우량과 위치 추적 부이를 이용한 선행 연구 결과를 토대로 부유쓰레기의 이동량을 산정하였다.

첫 번째로 강우량과 유량과의 상관관계 분석을 통해 관계식을 도출하였다. 선행강우량의 조건을 5일로 하여 관측 지점의 총 강우량과 유량을 비교한 결과, 결정계수( $R^2$ )가 0.6414로 유의미한 결과를 보여주었다 (그림 3). 그리고 낙동강 중권역별 강우 유출곡선지수(CN)와 최대 잠재보유수량을 이용하여 산정한 유효 강우량을 유량과 비교한 결과에서도 결정계수( $R^2$ )가 0.8372로 강한 양(+)의 상관관계를 나타냈다(그림 4).

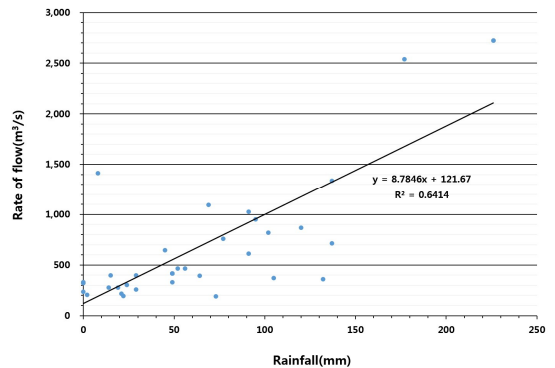


그림 3. 총 강우량 및 유량간 상관관계  
Fig. 3 Correlation of total rainfall with flow rate

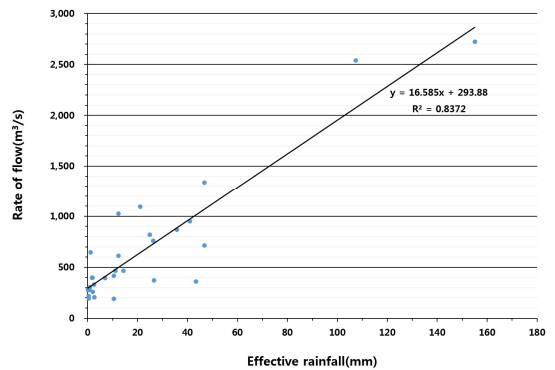


그림 4. 유효강우량과 유량간 상관관계  
Fig. 4 Correlation of effective rainfall with flow rate

따라서 부유쓰레기의 이동량을 산출하기 위해서는 강수량에 대한 고려가 있어야 할 것이다. 하지만 총 강우량 - 유량의 상관관계는 유역 주변의 토양 피복 및 이용 상태에 따른 침투, 차단 등의

손실량을 고려하지 않은 결과이다. 따라서 유량의 변화에 따른 부유쓰레기 이동량 산출의 정확성을 높이기 위해서 유효 강우량을 활용하는 것이 타당하다.

다음으로 부유쓰레기의 이동량 산정하기 위해 유량과 이동 경로 모니터링 결과 중 거리와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 1,000 m<sup>3</sup>/s 이하의 유량에서 대부분 10 km 이하의 이동 거리를 나타냈으며 결정계수(R<sup>2</sup>)가 0.7576로 강한 양(+)의 상관관계를 가진다(그림 5). 따라서 유효 강우량을 계산하여 유량을 산정할 경우 하천 내 부유쓰레기 이동량 추정이 가능하다.

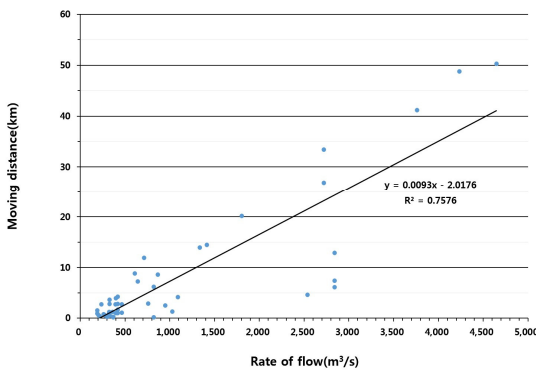


그림 5. 유량과 이동 거리와의 상관관계  
Fig. 5 Correlation of flow rate and moving distance

부유쓰레기 이동량 산정을 위한 유효 강우량과 유량, 유량과 이동 거리간의 경험식은 다음과 같다.

$$F = 16.585Q + 293.88 \quad (5)$$

$$D = 0.0093F - 2.0176 \quad (6)$$

F = 유량(m<sup>3</sup>/s), Q = 유효 강우량(mm), D = 이동 거리(km)

## V. 요약 및 결론

장마와 태풍 등으로 인한 집중 호우 시 하천·하구로 유입된 다량의 쓰레기는 수질오염, 수생태계

교란 및 경관훼손 등의 문제를 유발하고 있다. 또한, 중·상류에서 수거되지 못한 대량의 부유쓰레기가 하구 및 해양으로 유출됨에 따라 수거 처리 부담에 있어 매년 지방자치단체가 갈등을 빚어왔다. 이에 본 연구에서는 환경부가 하천부유쓰레기 발생량 추정에서 제시한 SCS-CN 방법을 이용하여 낙동강 중권역별 유효 강우량과 유량을 산출하고 이를 토대로 부유쓰레기의 이동량을 산정하고자 하였다. 그 결과 유효 강우량 - 유량, 유량 - 이동 거리간 높은 상관관계를 토대로 부유쓰레기 이동량 산정 경험식을 도출 할 수 있었다.

향후 본 연구 결과는 낙동강을 비롯한 하천 부유쓰레기 수거관리 정책 수립 및 지방자치단체간 수거 처리 부담 시 기초 자료로 활용 할 수 있을 것으로 생각된다.

### 감사의 글

이 논문은 부산녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업(2016년)에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] J. Yu, B. Yoon, J. Rho, and S. Yoon, "Investigation of floating debris characteristics drained from 4 big river on a flooding," *J. of the Korean Society for Marine Environment & Energy*, vol. 5, no. 3, 2002, pp. 45-53.
- [2] Ministry of Environment, "The second master planning for debris in main stream and estuary of the five major river," *Final Report*, Dec, 2013.
- [3] S. Jang, D. Kim, K. Seong, Y. Chung, and H. Yoon, "Analysis of floating debris behaviour in the Nakdong River basin of the southern Korean peninsula using satellite location tracking buoys," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 88, no. 1-2 2014, pp. 275-283.
- [4] S. Jang, H. Yoon, and W. Seo, "Analysis of the estuary outflow characteristics of floating debris in the downstream of Nakdong River

using satellite location tracking buoys," *J. of the Korean Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 10, no. 2, 2015, pp. 157-164.

- [5] S. Jang, D. Kim, Y. Chung, and H. Yoon, "A study on exploring accumulation zone and composition investigation of floating debris in Nakdong River basin," *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, vol. 18, no. 2, 2015, pp. 45-58.
- [6] S. Jang, Y. Chung, S. Lee, and H. Yoon, "Route Tracking of Moving for Floating Debris using LEO Mobile Satellite Service," *Proc. of the Korean Institute of Electronics Communication Sciences*, Busan, Korea, vol. 7, no. 1, Jun, 2013, pp. 101-102.
- [7] S. Janz and H. Yoon, "A Study on Characteristics of Floating Debris Movement in Nakdong River Basin using Field Survey and Location Tracking Model," *Proc. of the Korean Institute of Electronics Communication Sciences*, Busan, Korea, vol. 8, no. 1, Jun, 2014, pp. 467-468.
- [8] J. Hong, "A study on the management of land-based marine debris : a focus on the Nakdong Riber basin," *Gyeongnam Development Institute*, Oct, 2007.
- [9] Geum River Basin Environmental Office, "Basic investigation research for total amount management system construction of industry waste water," *Ministry of Environment, research Report*, Dec, 2008.
- [10] S. Lee and S. Bae, "Estimation of groundwater recharge rate by SCS-CN method in Wicheon basin," *J. of Nakdonggang Environmental Research Institute*, vol. 8, no. 1, 2003, pp. 177-183.

## 저자 소개

### 장선웅(Seon-Woong Jang)



2008년 대구가톨릭대학교 지리교육과 졸업(지리학사)  
2012년 부경대학교 대학원 위성정보과학과 졸업(공학석사)

2015년 부경대학교 대학원 공간정보시스템공학과 졸업(공학박사)

2015년 ~ 현재 (주)라이온플러스 기업부설연구소 책임연구원

※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS

### 윤홍주(Hong-Joo Yoon)



1983년 부경대학교 해양공학과 졸업(공학사)

1985년 부경대학교 대학원 해양학과 졸업(공학석사)

1997년 프랑스 그르노블 I 대학교 대학원 위성원격탐사전공 졸업(공학박사)

1999년 ~ 2002년 여수대학교 해양공학과 교수

2002년 ~ 현재 부경대학교 공간정보시스템공학 교수

※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS